

トンネル内画像を基にした地下鉄トンネルの変状とはく落リスクの基礎的分析

土木大学	正会員	○神澤	拓
土木大学	正会員	大藤	正和
土木学会	正会員	田中	大介
土木大学	非会員	芳賀	奈津美

1. はじめに

地下鉄の運営には構造物を適切に維持管理しておくことが重要であるが、中でもトンネル上床部のはく落は列車支障に直結する可能性があるため特に注意を要する。はく落予防には、打音による点検作業が有効であるが、上床部の打音には多大なコストを要するため、安全性を保ちつつ効率化を図ることが課題となっている。東京メトロ（以下、メトロ）では、打音点検を効率化する取り組みとして、トンネル内の画像から変状を検知して、はく落リスクが高い箇所を選定する技術を検討してきた。本稿では、同検討の後続として実施してきた、変状とはく落リスクの関係性を分析した結果と、打音点検箇所を選定する技術の導入により発揮された効果等について報告する。

2. 変状とはく落リスクの関係性の分析フロー

画像から得られる、ひび割れや漏水などのトンネル表面に存在する変状情報から、打音点検箇所を選定するために着目すべき変状の分析を行った。分析フローを図1に示す。まずトンネル内画像と通常全般検査の一部結果を基にトンネル表面にある変状を網羅的に把握し(①)、1m×1mの分析メッシュを設定した(②)。次に、このメッシュ単位で各変状の有無を集計し(③)、その後、別途実施した打音点検において検査員がはく落リスクの高いと判断した箇所を突き合わせ、「変状」と「はく落リスク」の関係性を分析した(④)。分析対象は、延長7.6kmの箱型トンネル区間における上床部とした。②のメッシュ化处理により、分析対象区間は35,617メッシュに区分される。そのうち、打音点検ではく落リスクの高いと判断した箇所が含まれるメッシュは110であった。

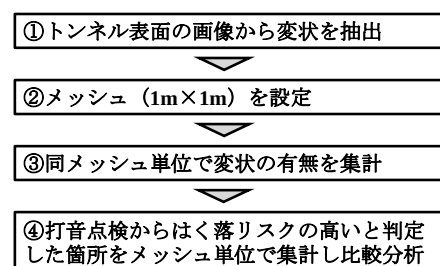


図1 分析フロー

3. 変状とはく落リスクの分析結果

①の処理により、ひび割れや漏水をはじめとする18種の変状がトンネルに存在することが確認された。以降では、分析結果を考察し易くするため、また、より普遍性の高い関係性を見出すために18種の変状を表1の通りグループ分けし、これら「グループ変数」と「はく落リスク」の関係性を分析した。④の集計分析の結果を表2に示す。同表の「再現率(安全性)」は「グループ変状が存在し、かつはく落リスクがあるメッシュ数」から「はく落リスクがあるメッシュ総数」を除いたもの、「適合率(効率性)」は「グループ変状が存在し、かつはく落リスクがあるメッシュ数」から「グループ変状が存在するメッシュ総数」を除いたものである。F値は「再現率」と「適合率」の調和平均としており、打音点検箇所を選定する際に、安全性と効率性をバランスよく考慮可能な指標として活用できると考えられる。

表2より、漏水系、補修系、構築系、ひび割れ系の順にF値が高いことがわかる。漏水系の変状が最もF値が高いことに関しては、普段の定期検査時においても漏水箇所の周辺は注意を払って点検していることや、漏水周辺の構造物は劣化しやすいこと等の経験則と一致している。表3には、任意の組合せを考慮したグループ変状のF値を示す。表3の通り、組合せを考慮したことで適合率が向上し、これに伴いF値が高くなってお

キーワード 地下鉄トンネル、打音点検、画像、はく落リスク評価

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野3丁目19番6号

東京地下鉄株式会社 工務部土木課 TEL03-3837-7230

表 1 変状のグループ分類

変状名	グループ	変状名	グループ
(1) ひび割れ	ひび割れ系	(10) 建設初期の構築補修	補修系
(2) 亀甲状ひび割れ		(11) 建設初期の漏水補修	
(3) 面漏水	漏水系	(12) 構築補修	
(4) 析出物		(13) 漏水補修	
(5) コールドジョイント	構築系	(14) ひび割れ補修	
(6) ジャンカ		(15) アテ板補修	
(7) 鉄筋露出		(16) 開口閉塞跡	
(8) 構築のはく離・浮き (B ランク以上)		(17) 中間杭補修跡	
(9) 補修モルタルのはく離・浮き (B ランク以上)		(18) はく落・はつり跡	

表 2 グループ変状ごとの F 値

グループ 変状	該当 メッシュ	はく落 メッシュ	再現 率	適合 率	F* 100
漏水系	3,274	52	47%	1.6%	3.07
補修系	4,277	64	58%	1.5%	2.92
構築系	7,442	94	85%	1.3%	2.49
ひび割れ系	12,888	30	27%	0.2%	0.46

表 3 組合せを考慮した変状の F 値

グループ 変状組合せ	該当 メッシュ	はく落 メッシュ	再現 率	適合 率	F* 100
I) 漏水系×構築系	634	33	30%	5.2%	8.87
II) 構築系×補修系	1,240	51	46%	4.1%	7.56
III) 漏水系×補修系	1,515	48	44%	3.2%	5.91
IV) ひび割れ×補修系	2,375	25	23%	1.1%	2.01

り、これらを指標にすることで効果的に打音箇所が実施できると考えられる。しかしこれらの組合せ変状では、再現率が 50%以下に留まる。そこで表 3 の結果から比較的効果的な変状の組合せと考えられる I) 漏水系×構築

系、II) 構築系×補修系を用いて、上床幅×延長 5m メッシュを分析単位とした再評価を実施した。結果を表 4 に示す。同表の「従来比」とは分析メッシュ総数に対する該当メッシュ（打音点検区間）の比であり、従来の全面的に打音を実施していた延長と比較して省力化できる程度を表す。分析メッシュを広げることで打音箇所を細かく特定することはできなくなるが、実用上はこの評価粒度で打音点検に立ち止まる位置がある程度精度よく選定できれば現場作業に役立てられると考えた。つまり、II) の結果を活用すれば再現率を 80%以上確保しながら、打音点検に立ち止まる位置は従来と比較して約 24%に納めることのできる分析結果となった。

表 4 5m メッシュによる評価結果

グループ 変状組合せ	該当メッシュ	はく落メッシュ	抽出率	従来比
I) 漏水×構築	190	17	61%	16.2%
II) 構築×補修	287	23	82%	24.4%

4. 現場への試験導入

通常全般検査や特別全般検査とは別にメトロで独自に実施している打音点検に同選定技術の導入を試みた。対象路線は延長 17.1km のトンネル上床とした。ここでは I) 漏水系×構築系、II) 構築系×補修系の組合せ変状を併用してそれらが存在する箇所を予め選定した打音点検を実施し、選定されなかった区間に対しても立ち止まらないものの目視して異常がないことを確認しながら進めるセーフティネットを設け、異常箇所の点検漏れを防ぐことに配慮した。その結果、打音点検箇所は従来比約 20%に納めることができ、費用も従来比 40%減で完了することができた。これにより画像の取得費などの事前投資を含めても費用面で効果が得られ、また、予め選定した区間以外で別途打音点検を要するような箇所は近接目視の結果からは確認されず、一定の成果を収めることができた。

5. 課題と今後の展望

変状の有無だけに着目して打音点検箇所を選定することの精度にはある程度の限界があると考えられる。今後は統計分析技術の導入をはじめとする分析による工夫はもちろんのこと、画像以外の変状把握手法を導入するなど視野を広く持ち、引続きはく落予防の安全性の向上と効率化を目指した取組みを進めていきたい。

参考文献

1) 石川ら：地下鉄トンネルにおける打音点検箇所の自動抽出手法の検討，VI-839，土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会，2022。